

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☐ 成果報告
☒ 期中進度報告

大跨徑屋蓋結構之氣動力特性與耐風設計

Investigation of aerodynamic characteristics and design wind load of large span roof structures. (2/3)

計畫類別：☒ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2221-E-032-022-MY3

執行期間：97 年 8 月 1 日至 98 年 7 月 31 日

計畫主持人：鄭啟明

共同主持人：

計畫參與人員：鄭詩穎、陳昶志、陳玄仁、鍾欣潔、洪詩嫻、陳宥芸、曾鈺婷

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☒ 精簡報告 ☐ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

☐ 赴國外出差或研習心得報告一份

☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份

☒ 出席國際學術會議心得報告一份

☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年☐ 二年後可公開查詢

執行單位：淡江大學土木系

中 華 民 國 98 年 7 月 8 日

大跨徑屋蓋結構之氣動力特性與耐風設計(2/3)

中文摘要：

本計畫今年度以數種外型幾何參數之模型進行試驗，探討幾何參數對於此類型結構所受風力與風壓影響特性。此外並研擬結構等值靜態設計風壓並與直接積分法所得結果進行比對驗證。工作內容主要包括：(1)大跨徑屋蓋結構之氣動力特性研究 (II) --以三種不同幾何參數之大跨徑圓頂建築物為標的物，探討幾何參數對於此類型結構所受風力與風壓的影響。(2)大跨徑屋蓋結構之設計風載重 (I)--建構三種幾何外型之大跨徑屋蓋剛性（自然週期小於 1 秒）結構，研擬以 POD 法計算結構等值靜態設計風壓之方法，並與直接積分法所得結果進行比對驗證。試驗結果顯示，側牆高度越高，頂蓋之昇力越大。而頂蓋曲度越大，則會使得水平阻力升高，但垂直昇力降低。此外，由 POD 法進行擾動風壓特性分析發現，當屋蓋曲度越大，高度較高時，其風壓擾動能量較為分散。且側牆對屋蓋風壓分佈之影響遠不及屋蓋本身高度或曲度之影響嚴重。此外，針對三組實驗模型所建立的 FEM 分析模式，以實驗數據進行風力歷時分析與等值靜態風力載重分析後得知，兩者內力各項數值差距頗大，但內力變化趨勢呈現一致，顯示背景風力部分 POD 振態取樣之代表性可能不足。未來計算背景風力部分將適當增加 POD 振態取樣數量，以改善等值靜態風載重之分析成果。

關鍵字：大跨徑屋蓋結構，氣動力，風洞試驗，等值靜載重

英文摘要：

In this year, this project investigates the effect of aspect ratio on the aerodynamics characteristics of large span roof structures; and constructs complete finite element model analyses to investigate the wind effects on the element responses. The investigations include: (i) through wind tunnel experiment to obtain the insights of dynamic characteristics of large span roof structures for three aspect ratios ; (ii) conducting time domain analysis on the FEM structural models with wind tunnel measured wind pressure as input to investigate the wind effects on the structural behavior and element responses; (iii) based on the Proper Orthogonal Decomposition method to establish an equivalent static design wind pressure procedure for the rigid type roof structures; (iv) the structure element responses estimated by time domain analysis were compare with equivalent static design wind pressure.

The following results were obtained: (i) the lift force of roof increased with the height of side wall, whereas the drag force increased and lift force decreased with the height of roof; (ii) increasing the height of roof may cause the energy of fluctuating wind pressure spreading to lower POD modes; (iii) although the trends were similar, there exists noticeable deviations of structure members forces calculated by time domain analysis and equivalent static design wind pressure procedure. In other words, the current equivalent static design wind load procedure needs further improvement.

Key word : large span roof structure , aerodynamics , wind tunnel experiment , equivalent static design wind load

一、前言

在近代都會區的建設中，大跨徑屋蓋結構是大型公共建築常見的建築形式之一。車站的站場、開放式運動場的頂棚、巨蛋式室內體育場等都屬於此類結構形式；某些廠房、機場的機棚等也屬於此類結構。大跨徑屋蓋結構由於具有較大的受風面積與無支撐面積，以及質量相對較輕的特性，因此許多時候，風力會超越地震力，成為設計時的主要荷載。因此建構大跨徑屋蓋結構的風壓風力特性做為未來修訂規範的參考依據，是本計畫之主要目的。本計畫已執行一年，第一年之研究成果主要以風洞試驗與 CFD 數值模擬探討大跨徑屋蓋結構（以單純半球體為主）之氣動力特性（包括雷諾數效應）及比較模態分析(modal analysis)與直接積分法(direct integration)計算大跨徑屋蓋結構受風反應之差異。而今年度則以數種外型幾何參數之模型進行試驗，探討幾何參數對於此類型結構所受風力與風壓影響特性。此外並研擬結構等值靜態設計風壓並與直接積分法所得結果進行比對驗證。

二、研究計畫內容

本年度的的工作項目簡述如下：

(1)大跨徑屋蓋結構之氣動力特性研究 (II)

以三種不同幾何參數之大跨徑圓頂建築物為標的物，探討幾何參數對於此類型結構所受風力與風壓的影響。

(2)大跨徑屋蓋結構之設計風載重 (I)

建構三種幾何外型之大跨徑屋蓋剛性（自然週期小於 1 秒）結構，研擬以 POD 法計算結構等值靜態設計風壓之方法，並與直接積分法所得結果進行比對驗證。

三、大跨徑屋蓋結構之氣動力特性研究 (II)

本研究將以風洞縮尺模型實驗探討大跨徑屋蓋結構的氣動力特性，所擬使用的儀器設備與數據分析方法簡述於下：

3-1 風洞本體介紹：

本研究所使用之風洞設備為淡江大學第一號邊界層風洞，該風洞屬於吸入、開放型。風洞實驗段長 18.0 m，其斷面寬 3.2 m、高 2.0 m，風洞頂板高度可調整，其最大調整高度為 0.4 m。十六槳葉之軸流式風扇（axial fan）其直徑為 2.2 m，由具 175 匹馬力之直流無段變速馬達帶動。風速可經由控制風扇之轉速而得到調整，其流速範圍為 0.7 m/s 至 15 m/s。風洞進口段之收縮比為 4：1，進口段設有蜂巢管及四層之阻尼網（damping screen），風洞內自由流之紊流強度約為 1%。

3-2 流場模擬：

進行風洞實驗時為了能使縮尺模型的風速量測能適當地用於實際風場，所量測的各個物理量必須對一穩定的參考風速作無因次化，本實驗選取模型上游大氣邊界層高度 δ 的量測風速為參考風速。

本案使用錐形擾流板和配套之粗糙元及龍齒組合，在風洞之試驗段內建立一能與自然狀況相當之模擬大氣邊界層。本中心利用熱膜探針風速儀，在風洞之試驗段內，不同高度下所量測順風方向之平均流速及紊流強度。將各高度風速 U_i 除以邊界層高度風速 U_δ ，可得無因次化風速。圖 1 及圖 2 分別顯示在風洞之試驗段內，不同高度順風方向之平均流速及紊流強度隨高度變化之剖面曲線。實驗室所建立之模擬邊界層厚度在轉盤處約 100cm，若以 1/300 縮尺而言，其邊界層高度約為 300 m，根據風速剖面圖所計算 α 值為 0.15。

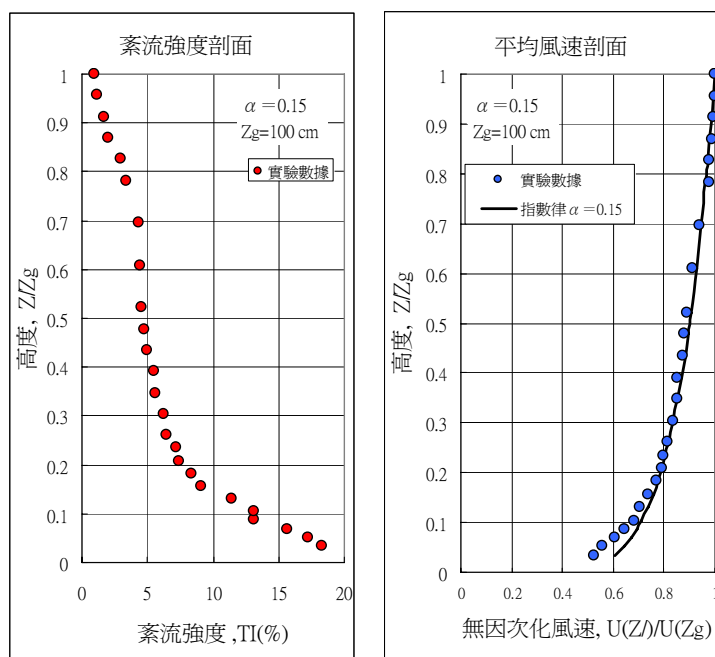


圖 1 紊流強度剖面(地況 C) 圖 2 平均風速剖面(地況 C)

3-3 風壓模型

研究採用之模型，依拱高 (h)、屋簷高 (H) 與跨度 (D) 之比值為參數，選擇 3 個模型如圖 3，依模型造型分別命名為 H2h2 代表 $H/D=0.2$ 及 $h/D=0.2$ 之模型，H1h2 代表 $H/D=0.1$ 及 $h/D=0.2$ 之模型，及 H1h3 代表 $H/D=0.1$ 及 $h/D=0.3$ 之模型。試驗時針對曲面屋頂進行風壓量測。風壓試驗所使用模型，重點在於能在其表面開設許多風壓孔，並可保持氣密狀態，因此利用壓克力材料來製作此模型。製作方式為在模型表面開設風壓孔，並將模型內部挖空，裝設風壓管，每一個模型安裝 420 個風壓孔。最後將模型架設至風洞試驗段，並將風壓管連接至電子式壓力掃描器，並透過電腦，對表面風壓進行量測。

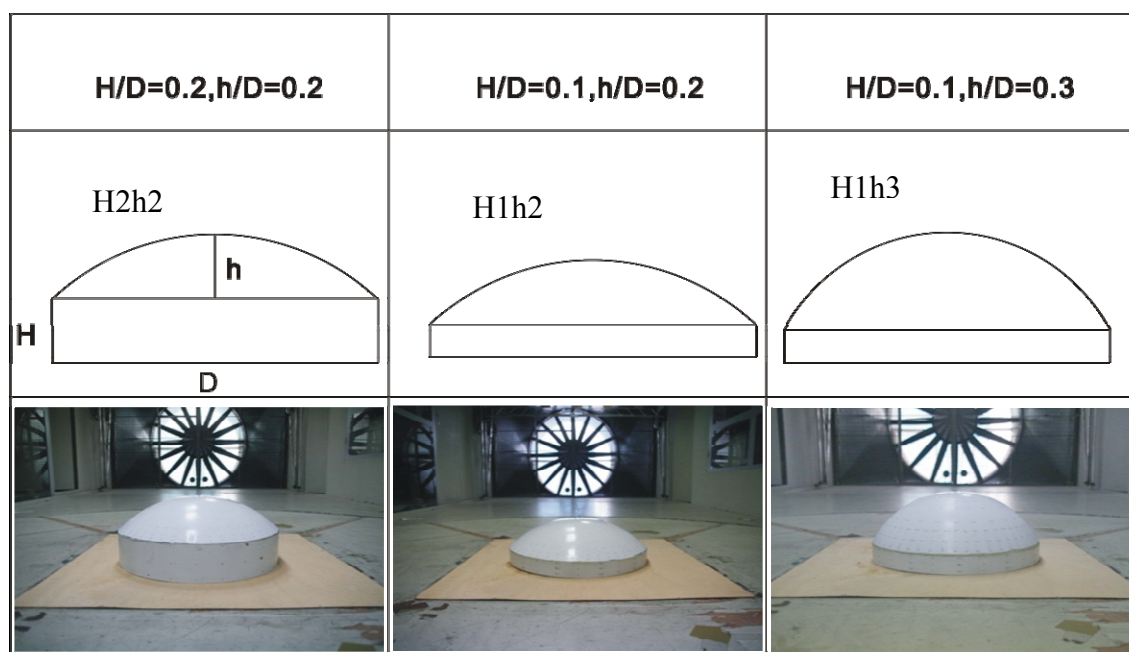


圖 3 本計畫模型之幾何參數

3-4 試驗結果

為觀察大跨徑屋蓋結構表面風壓分佈隨幾何造型變化的趨勢，將平均風壓係數及擾動風壓係數分佈繪製出來，如圖 4 及圖 5 所示。此風壓係數是以建築物高度之風速壓作為無因次化參數。圖 4 為大跨徑屋蓋結構表面平均風壓係數分佈，雖然屋蓋面為三維曲面，但

其平均風壓分布呈現二維特性。亦即，壓力的變化特性沿氣流流向改變。由圖上可觀察到，H1h2 模型其迎風面平均風壓係數約為-0.05，越向下游負壓越大，至屋蓋頂部風壓係數約為-0.55~-0.6 間。再往下游延伸，壓力有回復之情況，在流場下游屋蓋邊緣處壓力將回復為正壓，風壓係數約為 0.2。而 H2h2 模型其迎風面平均風壓係數約為-0.1，越向下游負壓越大，至屋蓋頂部風壓係數約為-0.65。再往下游延伸，壓力有回復之情況，在流場下游屋蓋邊緣處壓力將回復為正壓，風壓係數約為 0.15。此兩組模型之曲面屋蓋部分形狀相同，但側牆高度不同，因 H2h2 模型側牆較 H1h2 模型高一倍，該模型曲面屋蓋部分位於風速較高處，因此其風壓係數明顯較 H1h2 模型為高。

H1h3 模型其迎風面平均風壓為正壓，風壓係數約為 0.35，越向下游壓力漸轉變為負壓，至屋蓋頂部風壓係數約為-0.85~-0.9 間。再往下游延伸，壓力有回復之情況，在流場下游屋蓋邊緣處風壓係數約為-0.05。與 H1h2 模型比較，此模型之側牆與 H1h2 模型相同，但屋蓋部分較高，因此其屋蓋部分曲度較大，平均風壓係數變化較巨，由前緣 0.35 至屋蓋最高處為-0.9。

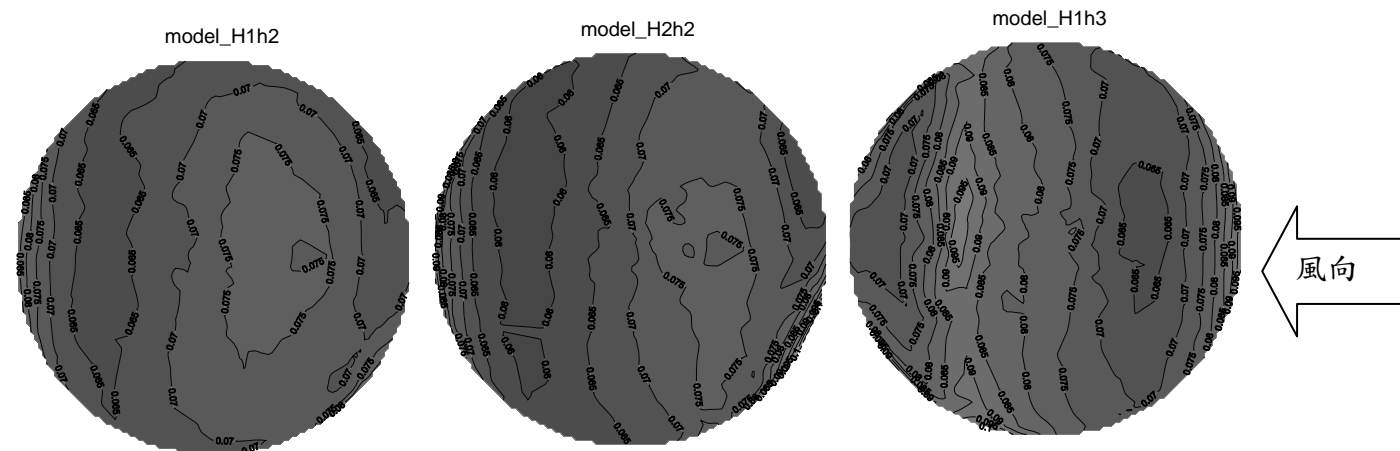


圖 4 大跨度屋蓋平均風壓分佈圖

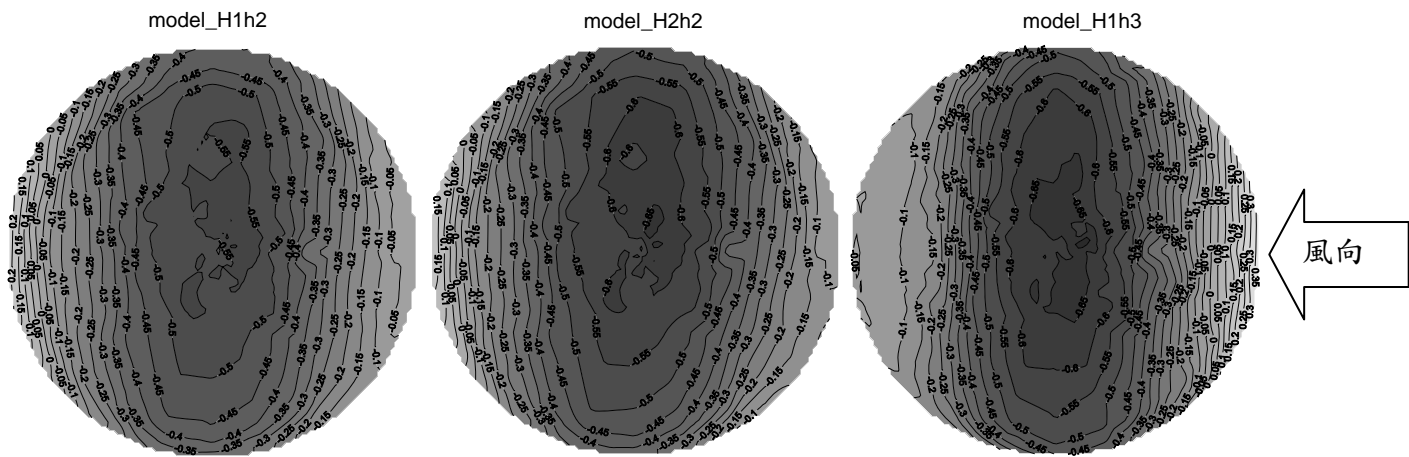


圖 5 大跨度屋蓋擾動風壓分佈圖

圖 5 為大跨徑屋蓋結構表面擾動風壓係數分佈。由圖上可觀察到，H1h2 模型其迎風面擾動風壓係數約為 0.065，向下游方向擾動風壓上升至 0.07，至屋蓋頂部前緣，擾動風壓最高約為 0.075。再往下游延伸，擾動風壓降低至 0.065，但再往下游擾動風壓則再度上升，上升至屋蓋邊緣擾動風壓約為 0.085。

H2h2 模型其迎風面擾動風壓係數約為 0.065，向下游方向擾動風壓上升至 0.07，至屋蓋頂部前緣，擾動風壓最高約為 0.075。再往下游延伸，擾動風壓降低至 0.065，但再往下游擾動風壓則再度上升，上升至屋蓋邊緣擾動風壓約為 0.09。趨勢與 H1h2 模型相似。但

在模型前緣左側區塊擾動風力偏大，該處位於曲面屋蓋與側牆交接處，其原因應為模型製作時，該處不完全平整而造成該區域氣流擾動稍大所致。

H1h3 模型其迎風面擾動風壓係數約為 0.095，向下游方向擾動風壓下降至 0.065，而後擾動風壓再度上升至屋蓋頂部之下游處，擾動風壓最高約為 0.095。再往下游延伸，擾動風壓降低至 0.07。

為便於比較，將屋蓋中央子午線上之風壓測點風壓係數取出繪製，如圖 6 及 7，圖中 X 軸為風壓點距屋蓋迎風面端點之水平距離 X 與屋蓋跨度 D 之比值，由圖中可觀察到，模型 H1h2 與模型 H2h2 之平均風壓與擾動風壓係數分佈均十分相似，其中側牆高度較高者，平均風壓及擾動風壓均稍微偏大。但模型 H1h2 與模型 H1h3 比較，其平均風壓分佈，在屋蓋前緣與後緣皆有明顯差異。因模型 H1h3 曲度較大，故前緣風壓有正風壓產生，而後緣壓力回復程度不若模型 H1h2 明顯。而擾動風壓部分，模型 H1h3 其趨勢與其他兩組模型皆有很大差異。由此可知，曲面屋蓋高度變化之影響遠比側牆高度變化之影響為巨。

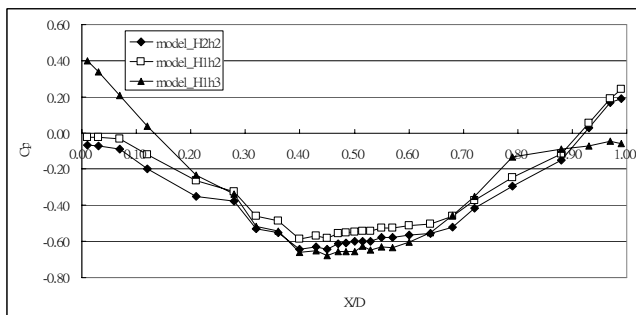


圖 6 大跨度屋蓋子午線平均風壓分佈

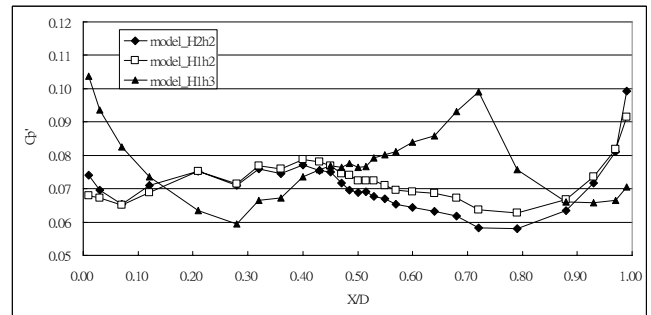


圖 7 大跨度屋蓋子午線擾動風壓分佈

上述內容主要以風壓分佈的層面探討幾何參數之影響，而幾何參數對結構整體風力之影響則如下表所示，表中代表三種模型之 X，Y，Z 三向之平均及擾動風力係數，其中 X 為順風向，Y 為橫風向而 Z 為垂直向風力係數。此風力係數以建築物高度之風速壓及屋蓋跨徑 D 及屋蓋高度 h 作為無因次化參數。

由表中風力係數可知，順風向風力係數，模型 H1h2 及 H2h2 為正值，與風向反相，其原因是由於屋蓋曲度較小，使得迎風處為負壓，而背風處因壓力回復，反而變成正壓，因此會造成順風向風力係數與風向成反向的結果。但此二組模型因曲度較小，故水平向風力係數皆不大，而其垂直向風力係數部分因 H2h2 側牆高度較高，平均風壓稍微偏大，故其垂直向風力係數較高。而模型 H1h3 及因曲度較大，屋蓋高度較高故其順風向風力與風向同向，且明顯較其他兩者為高，而垂直向風力係數部分因曲面角度較大故垂直向分量較小，因此垂直向風力係數稍低於而模型 H1h2。

表 1 大跨度屋蓋風力係數

風力係數						
	Cfx	Cfx'	Cfy	Cfy'	Cfz	Cfz'
H1h2	0.039	0.018	0.028	0.025	0.351	0.059
H2h2	0.032	0.017	0.037	0.021	0.429	0.052
H1h3	-0.068	0.016	-0.001	0.045	0.323	0.032

四、大跨徑屋蓋結構之分析

4-1 以 FEM 探討大跨徑屋蓋結構之動力特性

大跨徑屋蓋結構為大型公共建築所常見，車站站場、開放式運動場頂棚、巨蛋室內體育場等皆屬於此類結構形式；某些廠房、機場機棚等亦同屬此類結構。然而為了解大跨徑屋蓋結構其受風效應下所為之反應，建立原型結構系統作為此類結構形式之探討。

本階段所建置結構系統為一般常見之 K8 單層網格結構，由四組圓弧形拱梁承載屋蓋結構，並配置八組水平圓形拱肋適當約束拱梁水平位移，再於拱肋間以軸力桿件抵抗結構體之水平位移，由此三種主要構件組成 K8 屋蓋結構體。曲面屋蓋結構系統支撐柱高度部分在研究屋蓋部分的動力特性忽略不計。一般來說支撐柱多由較為剛性的桿件組成，且由版互相連接。進行動力分析觀看其振態時，支撐柱部分可簡單視為剛性邊界條件。因此圖 8 有限元素模型中僅以屋蓋部分作為探討。



圖 8 曲面屋蓋結構系統模型

如圖 8 所示 2 組曲面屋蓋結構模型，桿件主要區分為三種類型：拱梁、拱肋及斜撐。四組拱梁由型鋼 RH800×300×14×26 斷面所組成，可承受軸力、剪力及彎矩作用；八組水平拱肋由型鋼 RH400×200×8×13 斷面所組成，同樣可承受軸力、剪力與彎矩作用；軸力桿件則選擇圓形鋼管斷面 P101.6×3.2，桿件兩端以鉸接方式與主要桿件連結僅可承受軸力作用。本計畫採用有限元素分析軟體 MIADS/Gen 進行結構分析作業。由特徵值分析所得 2 組各前 100 個模態頻率分佈如下圖 9 所示。由圖 4-2 得知，大跨度屋蓋結構無論高跨比(h/D)為何，趨勢均呈現一連續性分佈。模態與模態間相似性高，計算受風反應靜載重時共振部分的計算必須考慮多組模態。亦即主要振動模態並非具有獨立。此外，隨著高跨比 (h/D) 增加，頻率分佈曲線逐漸由高頻向低頻移動，亦即跨度相同時，高度較低較為平坦的屋蓋結構其剛性較高。

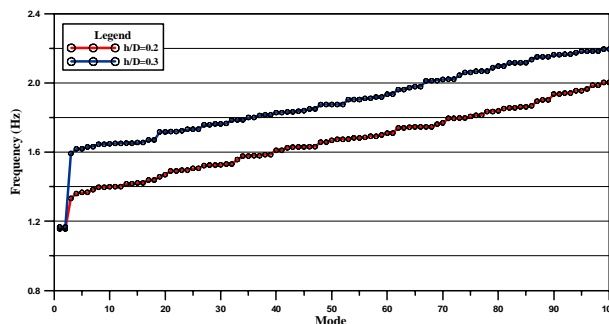


圖 9 曲面屋蓋結構系統模型

觀察兩組高跨比 (h/D) 不同的曲面屋蓋結構振動模態，如圖 10、11。共同趨勢均顯示屋蓋結構前兩振態為反對稱振動型態，較高振態趨勢逐漸轉為局部區域振動，這是由於主要拱梁斷面勁度較水平拱肋及斜撐元件為大，致使第二振態後所顯現之振動行為均屬於局部區域振動。由於目前所分析之兩種曲面屋蓋結構高跨比 ($h/D=0.2, 0.3$) 差異不大，因

此結構振態並無明顯差異。未來將增加不同高跨比（h/D）曲面屋蓋結構，可比較出高跨比（h/D）對結構振態之影響關係。

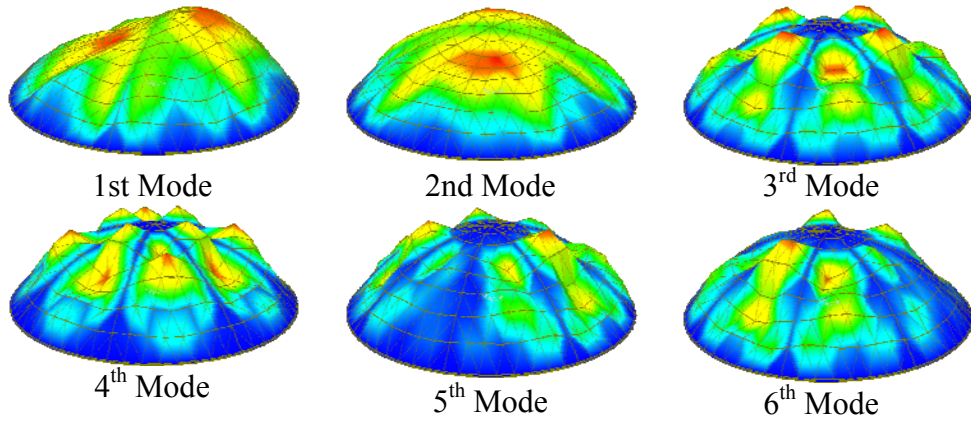


圖 10 高跨比 h/D=0.2 曲面屋蓋結構系統振態

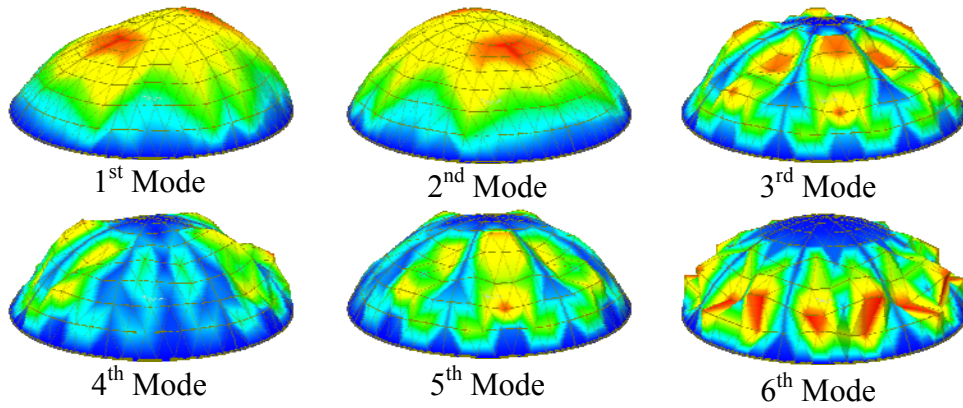


圖 11 高跨比 h/D=0.3 曲面屋蓋結構系統振態

4-2 等值風力靜態載重推導

建築物在特定風向角條件下的設計風載重為該風向的極值設計風力，是風載重平均值與擾動值的組合。風載重的極值為：

$$F_{\max} = \bar{F} \pm g\sigma_F \quad (4-1)$$

$$g = \sqrt{2\ln(vT)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2\ln(vT)}} \quad (4-2)$$

其中 F_{\max} 為極值設計風載重。 \bar{F} 為平均風載重。 g 為尖峰因子(peak factor)。

$\sigma_F = \sqrt{B^2 + R^2}$ 為動態風載重均方根值，可分為背景反應 B 與共振反應 R 兩部分，分述如下。

4-2.1 背景風力計算

背景風力由 POD 法計算方式如下所示：

$$P_{bg} = f \left[\sum_{i=1}^n g_i \omega_i (\sigma_i \phi_i) \right] \quad (4-3)$$

其中， f ：POD 各模態變異數修正因子， $f = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}{\sum_{j=1}^n \sigma_j^2}$

g ：尖峰因子

ω ：權重

σ ：標準差

ϕ ：POD 振動模態

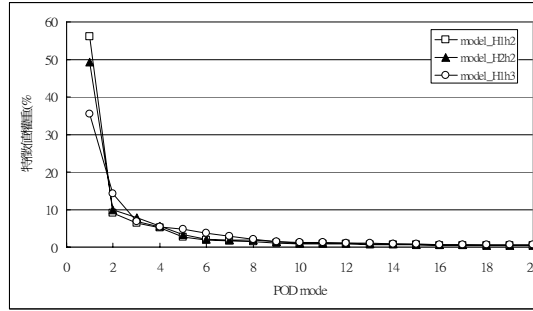


圖 12 各組模型 POD 振態能量權重分佈

各組模型 POD 振態能量權重分佈如圖 12 所示。由圖 12 得知，隨模型高度的增加 POD 振態能量分佈逐漸往高階振態移動。亦即，隨著模型高度的增加 POD 低階振態能量權重將逐漸降低。故由此可判斷，當屋蓋曲度越大，高度較高時，其風壓擾動能量較為分散。且側牆對屋蓋風壓分佈之影響遠不及屋蓋本身高度或曲度之影響嚴重。

4-2.2 共振風力計算

一般建築物之動態設計風載重可透過廣義風力頻譜 $S_F(f)$ ，經由下列之結構動力分析求得。結構基本振態廣義座標運動方程式如下：

$$M^* \ddot{Y}(t) + C^* \dot{Y}(t) + K^* Y(t) = F^*(t) \quad (4-4)$$

式中， M^*, C^*, K^* 分別為廣義座標質量、阻尼與勁度， $F^*(t)$ 廣義座標風力。

$$\begin{aligned} M^* &= \int_0^H m(z) \phi^2(z) dz \\ K^* &= \int_0^H EI(z) (\phi''(z))^2 dz \\ C^* &= 2M^* (2\pi f_0) \xi \\ F^*(t) &= \int_0^H F(z, t) \phi(z) dz \end{aligned} \quad (4-5)$$

以 Fourier Transform 轉換至頻率域，可得廣義風力頻譜(generalized wind force spectra) $S_{F^*}(f)$ 。廣義座標設計風載重，即其彈性力， $F_{int}^* = K^* Y$ ，之均方根值為：

$$\begin{aligned} \sigma_{F_{int}^*} &= K^* \sigma_Y = \left(\int_0^\infty S_{F^*}(f) |H(f)|^2 df \right)^{1/2} \\ |H(f)|^2 &= \frac{1}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \right)^2 + \left(2\xi \frac{f}{f_0} \right)^2} \end{aligned} \quad (4-6)$$

動態風載重的共振部分可由下式求得：

$$\sigma_R^2 = \frac{\pi f_0}{4\xi} S_{F^*}(f_0) \quad (4-7)$$

各節點自由度共振部分擾動風載重計算，則是基於共振時結構振動近似簡諧函數，此時大跨度屋蓋結構彈性力分佈近似於其慣性力分佈的假設之上。

$$\text{亦即，第 } i \text{ 節點自由度之慣性力／廣義慣性力} = \frac{m_i \phi(z_i) \ddot{Y}}{M^* \ddot{Y}} = \frac{m_i \phi(z_i)}{M^*} \quad (4-8)$$

換言之，第 i 節點自由度的共振反應， R_i ，可由下式求得：

$$R_i = \sigma_R \frac{m_i \phi(z_i)}{M^*} \quad (4-9)$$

4-3 等值風力靜態載重與風力歷時分析成果比較

本階段以 H1h2、H2h2、H1h3 三種結構分析模型配合地況 C 之風洞實驗數據資料，依照 4-2 節流程計算等值靜態風力載重並進行結構分析。擾動風力中之背景部分採用 POD 法取前兩組 POD 振態進行計算；共振部分則取結構前六組振態納入計算。其成果與風力歷時分析比較如圖 12、13、14 所示(紅色線為歷時分析結果，黑色線為等值靜載重分析結果)。

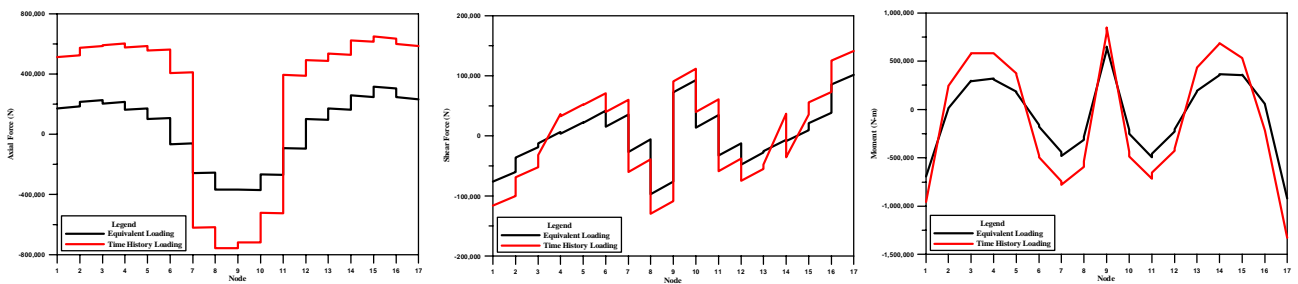


圖 12 高跨比 $h/D=0.2$ 、牆跨比 $H/D=0.1$ 主跨度拱梁(a)軸力(b)剪力(c)梁彎矩

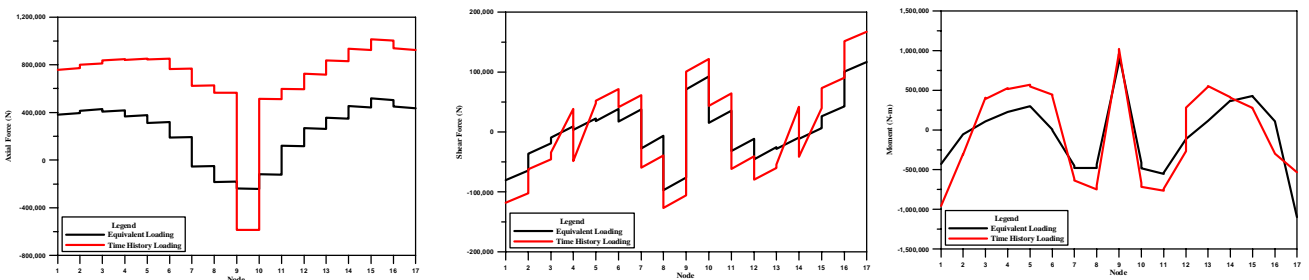


圖 13 高跨比 $h/D=0.2$ 、牆跨比 $H/D=0.2$ 主跨度拱梁(a)軸力(b)剪力(c)梁彎矩

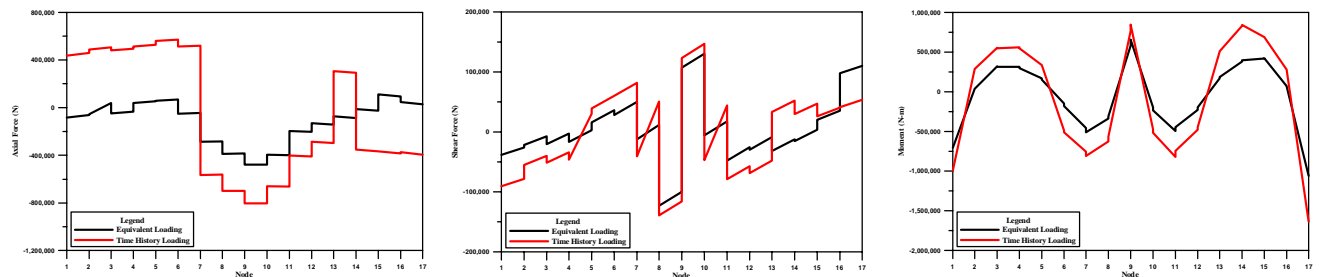


圖 14 高跨比 $h/D=0.3$ 、牆跨比 $H/D=0.1$ 主跨度拱梁(a)軸力(b)剪力(c)梁彎矩

圖中是以兩種載重施加下，主跨度拱梁之軸力、剪力及彎矩之極大值進行比較，由以上分析成果比較顯示，各組模型分析數據皆呈現一定差距，但內力變化尚趨近一致。

五、結論

大跨度屋蓋之氣動力特性，根據試驗結果可知，當側牆高度越高，頂蓋則位於離地較高處，因越高處風速越大，使其負壓較大，因此側牆高度越高，頂蓋之昇力越大。而頂蓋曲度越大，則會使得水平阻力升高，但垂直昇力降低。此外，由 POD 法進行擾動風壓特性分析發現，當屋蓋曲度越大，高度較高時，其風壓擾動能量較為分散。且側牆對屋蓋風壓分佈之影響遠不及屋蓋本身高度或曲度之影響嚴重。目前僅進行三組模型測試，未來將增加模型型式至六組，並以不同流場條件進行測試，以增加本資料庫之完整性。

針對三組實驗模型所建立的 FEM 分析模式，以實驗數據進行風力歷時分析與等值靜態風力載重分析後得知，兩者內力各項數值差距頗大，但內力變化趨勢呈現一致，顯示背景風力部分 POD 振態取樣之代表性可能不足。未來計算背景風力部分將適當增加 POD 振態取樣數量，藉由分析成果比較 POD 振態取樣數量與背景風力計算之相關性，以改善等值靜態風載重之分析成果，期能應用於更多不同外觀造型的大跨徑結構設計分析上。

六、參考文獻

- 1.Ogawa, T., M. Nakayama, S. Murayama & Y. Sasaki, 1991, "Characteristics of wind pressures on basic structures with curved surfaces and their response in turbulent flow", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 38, 427-438.
- 2.Ogawa T., Nakayama M., Murayama S., "Characteristics of wind pressure on spherical domes in turbulent boundary layers", Proceedings of the 10th National Symposium on Wind Engineering, Tokyo, 1988, pp. 55-60.
- 3.Uematsu Y., Yamada M., Inoue A., Hongo T., 1997 "Wind loads and wind-induced dynamic behavior of a single-layer latticed dome", J. wind Eng. Ind.
- 4.Nakayama, M., Y. Sasaki, K. Masuda & T. Ogawa, 1998, "An efficient method for selection of vibration modes contributory to wind response on dome-like roofs", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 73, 31-43.

七、計畫成果自評

本計畫研究執行狀況尚符合原訂進度，並已建立大跨度建築資料庫之雛形，未來待資料完整後，應可對於類似之大跨度建築設計有相當之助益。